



PATENT

ATTORNEY DOCKET NO. 046124-5250

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

Toru HIROHATA, et al.

Application No.: 10/705,901

Filed: November 13, 2003

For: **PHOTOCATHODE**

Commissioner for Patents  
Arlington, VA 22202

Sir:

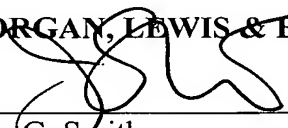
**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Under the provisions of 35 U.S.C. §119, Applicants hereby claim the benefit of the filing date of a Certified copy of Japanese Patent Application No. 2002-331142 filed November 14, 2002, for the above-identified United States Patent Application.

In support of Applicants' claim for priority, filed herewith is a certified copy of the Japanese application.

Respectfully submitted,

**MORGAN, LEWIS & BOCKIUS LLP**

  
\_\_\_\_\_  
John G. Smith  
Reg. No. 33,818

Dated: March 22, 2004

**CUSTOMER NO. 009629**  
**MORGAN, LEWIS & BOCKIUS LLP**  
1111 Pennsylvania Avenue, NW  
Washington, D.C. 20004  
Tel.: (202) 739-3000  
Fax: (202) 739-3001

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 1 月 1 4 日  
Date of Application:

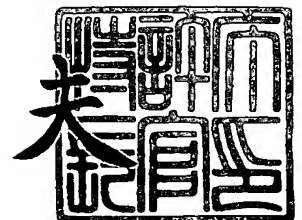
出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 3 1 1 4 2  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 2 - 3 3 1 1 4 2 ]

出      願      人            浜松ホトニクス株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 1 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 5 7 0 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-0393

【提出日】 平成14年11月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01J 1/34

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 廣畑 徹

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 新垣 実

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 望月 智子

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 山田 正美

【特許出願人】

【識別番号】 000236436

【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光電陰極

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離が、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下になるようにされていることを特徴とする光電陰極。

【請求項 2】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記表面電極と前記裏面電極とに印加する電圧を、前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離で除した値が $4\ (\text{V}/\mu\text{m})$ 以上であることを特徴とする光電陰極。

【請求項 3】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射

した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の厚み  $D$ 、前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離  $L$ 、前記第 2 半導体層のキャリア濃度  $N$ 、および前記表面電極と前記裏面電極に印加する電圧  $V$  が、下記 (1) 式の関係にあることを特徴とする光電陰極。

$$D^2 + L^2 \leq 3.0 (1 + V) \times 10^9 / N \cdots (1)$$

【請求項 4】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の厚み  $D$ 、前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離  $L$ 、および前記表面電極と前記裏面電極に印加する電圧  $V$  が、下記 (2) 式の関係にあることを特徴とする光電陰極。

$$D^2 + L^2 \leq 6.0 (1 + V) \times 10^{-13} \cdots (2)$$

【請求項 5】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離  $L$ 、前記第 2 半導体層のキャリア濃度  $N$ 、および前記表面電極と前記裏面電極に印加する電圧  $V$  が、下記 (3) 式の関係にあることを特徴とする光電陰極。

$$L^2 \leq 3.0 (1 + V) \times 10^9 / N \cdots (3)$$

【請求項 6】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離  $L$ 、および前記表面電極と前記裏面電極に印加する電圧  $V$  が、下記 (4) 式の関係にあることを特徴とする光電陰極。

$$L^2 \leq 6.0 (1 + V) \times 10^{-13} \cdots (4)$$

【請求項 7】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の厚み  $D$ 、前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離  $L$ 、および前記第 2 半導体層のキャリア濃度  $N$  が、下記 (5) 式の関係にあることを特徴とする光電陰極。

$$D^2 + L^2 \leq 3.3 \times 10^{10} / N \cdots (5)$$

【請求項 8】 第 1 導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 半導体層と、前記第 2 半導体層の表面の一部を露出させた状態で前記第 2 半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 半導体層と、前記第 3 半導体層上に形成された表面電極と、前記第 2 半導体層の露出表面に形成され、前記第 2 半導体層の

仕事関数を低下させる活性層と、前記基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、

前記第 2 半導体層の厚み  $D$  および前記第 2 半導体層の前記露出表面における前記第 3 半導体層からもっとも遠い点と前記第 3 半導体層との距離  $L$  が、下記 (6) 式の関係にあることを特徴とする光電陰極。

$$D^2 + L^2 \leq 6.6 \times 10^{-12} \dots (6)$$

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、光子の入射によって光電子を放出する光電陰極（光電子放射面）に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

半導体上に光吸収層と電子放射層とを設け、これらの光吸収層と電子放射層に電界を印加する手段を設けた光電陰極として、たとえば特許 2923462 号公報（特許文献 1）に開示されたものがある。この光電子陰極は、InP からなる基板上を有している。基板の上層には、厚さ  $2 \mu\text{m}$  の InGaAs からなる光吸収層が形成され、光吸収層の上には厚さ  $0.7 \mu\text{m}$  の p 型 InP 電子放出層が形成されている。さらに、p 型 InP 電子放出層の上層には、n 型 InP 層とこの n 型 InP 層に電位を与える Ti 金属層からなるメッシュ状の電極が形成されている。

##### 【0003】

また、n 型 InP 層と p 型 InP 電子放射層および光吸収層の間には、p/n 接合が形成されており、電源および配線、AuZn からなる電極により光吸収層および電子放射層に電界を印加している。この光電子陰極では、メッシュ電極の幅は  $2 \mu\text{m}$ 、電極の間隔は  $4 \mu\text{m}$  である。p 型 InP 電子放射層の表面の露出部には酸化セシウムが塗布されており、p 型 InP 電子放射層の表面の仕事関数を低下させている。また、この光電陰極は、真空に封じられ、光入射窓が形成された容器に収容されている。さらに、光電陰極から放出された電子は、別途設けら



れたコレクタ電極に対して放出される。

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ところで、この種の光電陰極では、分光感度を良好にするとともに、信号対雑音比  $S/N$  比の低下を招かないようにすることが望まれるが、上記特許文献 1 に開示されている光電陰極では、低温時において問題がある。一般に、光電放射面における暗電子放射は、熱電子放射が支配的となっているため、光電陰極の温度を低下させることにより、 $S/N$  比の改善を図ることができる。

#### 【0005】

ところが、光電陰極の温度を低下させると、分光感度の低下を招く。図 7 に光電陰極の分光感度の温度変化をグラフで示すが、図 7 からわかるように、光電陰極の温度が低くなるにしたがって、長波長側より分光感度が急激に低下している。このため、光電陰極の温度を低下させると、分光感度が低下してしまうことから、結局、光電陰極の冷却には限界があり、 $S/N$  比の改善を図ることができないという問題があった。

#### 【0006】

そこで、本発明の課題は、温度を低くした場合における分光感度の低下を抑制することにより、 $S/N$  比の改善を図ることができる光電陰極を提供することにある。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明者らは、鋭意研究を重ね、光電陰極における諸元を調整しながら後述する実験を行った。その結果、本発明者らは、光電陰極における所定の諸元のパラメータを所定の範囲内に設定することにより、冷却した場合でも分光感度の低下を抑制することができる所定の諸元の範囲を知見し、本発明を完成させるに至った。

#### 【0008】

上記課題を解決した本発明に係る光電陰極は、第 1 導電型の半導体基板と、半導体基板上に形成された第 1 導電型の第 1 半導体層と、第 1 半導体層上に形成さ

れた第1導電型の第2半導体層と、第2半導体層の表面の一部を露出させた状態で第2半導体層上に形成された第2導電型の第3半導体層と、第3半導体層上に形成された表面電極と、第2半導体層の露出表面に形成され、第2半導体層の仕事関数を低下させる活性層と、基板に設けられた裏面電極とを備え、入射した光に感応して電子を放出する光電陰極において、第2半導体層における露出表面を挟む第3半導体層同士の間距離が、 $0.2\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下になるようにされているものである。

#### 【0009】

本発明に係る光電陰極では、第2半導体層における露出表面を挟む第3半導体層同士の間距離が、 $0.2\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下になるようにされている。このため、後述する本発明の実施例における実験で説明するように、温度を低くした場合における分光感度の低下を抑制することができる。したがって、光電陰極を冷却してその温度を低くした場合であっても、分光感度の低下がほとんどなく、そのためS/N比の改善を図ることができる光電陰極とすることができる。

#### 【0010】

表面電極と裏面電極とに印加する電圧を、第2半導体層における露出表面を挟む第3半導体層同士の間距離で除した値が $4\text{ (V}/\mu\text{m})$ 以上である態様とすることもできる。

#### 【0011】

また、第2半導体層の厚みD、第2半導体層の露出表面における第3半導体層からもっとも遠い点と第3半導体層との距離L、第2半導体層のキャリア濃度N、および表面電極と裏面電極に印加する電圧Vが、下記(1)式の関係にある態様とすることができる。

#### 【0012】

$$D^2 + L^2 \leq 3.0 (1 + V) \times 10^9 / N \cdots (1)$$

さらに、第2半導体層の厚みD、第2半導体層の露出表面における第3半導体層からもっとも遠い点と第3半導体層との距離L、および表面電極と裏面電極に印加する電圧Vが、下記(2)式の関係にある態様とすることもできる。

#### 【0013】

$$D^2 + L^2 \leq 6.0 (1 + V) \times 10^{-13} \dots (2)$$

あるいは、第2半導体層の露出表面における第3半導体層からもっとも遠い点と第3半導体層との距離L、第2半導体層のキャリア濃度N、および表面電極と裏面電極に印加する電圧Vが、下記(3)式の関係にある態様とすることもできる。

【0014】

$$L^2 \leq 3.0 (1 + V) \times 10^9 / N \dots (3)$$

また、第2半導体層の露出表面における第3半導体層からもっとも遠い点と第3半導体層との距離L、および表面電極と裏面電極に印加する電圧Vが、下記(4)式の関係にある態様とすることもできる。

【0015】

$$L^2 \leq 6.0 (1 + V) \times 10^{-13} \dots (4)$$

さらに、第2半導体層の厚みD、第2半導体層の露出表面における第3半導体層からもっとも遠い点と第3半導体層との距離L、および第2半導体層のキャリア濃度Nが、下記(5)式の関係にある態様とすることもできる。

【0016】

$$D^2 + L^2 \leq 3.3 \times 10^{10} / N \dots (5)$$

そして、第2半導体層の厚みDおよび第2半導体層の露出表面における第3半導体層からもっとも遠い点と第3半導体層との距離Lが、下記(6)式の関係にある態様とすることもできる。

【0017】

$$D^2 + L^2 \leq 6.6 \times 10^{-12} \dots (6)$$

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら具体的に説明する。

【0019】

図1は、本発明の実施形態に係る光電陰極の全体斜視図、図2はその側断面図である。

【0020】

図1に示すように、本実施形態に係る光電陰極1は、p型InPからなり、キャリア濃度が $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の基板11を備えている。基板11の上層には、光吸収層12が形成されている。光吸収層12は、p型InGaAsPからなり、キャリア濃度が $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、厚みが $2 \mu\text{m}$ にされている。

#### 【0021】

光吸収層12の上層には、光電子を放射面に向けて加速させる電子放出層13が形成されている。この電子放出層13はp型InPからなり、キャリア濃度が $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、厚みが $0.7 \mu\text{m}$ にされている。電子放出層13の上層には、コンタクト層14が形成されている。コンタクト層14は、複数の突条が平行に配置されたストライプ状をなしており、突条の幅（線幅）は $1.4 \mu\text{m}$ とされ、突条間の間隔（線間）は $1.4 \mu\text{m}$ にされている。コンタクト層14の表層にはTiからなる表面電極15が形成されている。この表面電極15の厚みは $0.03 \mu\text{m}$ にされている。

#### 【0022】

また、ストライプ状に形成されたコンタクト層14の間からは、電子放出層13の一部が露出している。このコンタクト層14は、リソグラフィーによるパターンニングによってストライプ状に形成されている。さらに、コンタクト層14における突条間から露出する電子放出層13の表面は、酸化セシウムからなる活性層（図示せず）によって被覆されており、仕事関数が低下させられている。そして、基板11の裏面には、AuZnからなる厚み $0.03 \mu\text{m}$ の裏面電極16が形成されている。

#### 【0023】

さらに、表面電極15および裏面電極16は、それぞれコンタクト用のワイヤからなる配線21、21を介して電源22に接続されており、両電極の間には、たとえば5Vのバイアス電圧Vが印加されている。なお、図示の状態では、表面電極15と配線21は直接接続されているように描かれているが、実際には、表面電極15の一部に $1 \text{ mm } \phi$ 程度に広げた部分が設けられており、この部分に配線21が接続されている。また、すべてのストライプ状に加工された表面電極15に電位Vが印加されるようになされている。

## 【0024】

このような構成を有する本実施形態に係る光電陰極 1 では、電子放出層 13 を通過し光吸収層 12 に照射された光は、光吸収層 12 で吸収され光電子を発生させる。光吸収層 12、電子放出層 13 とコンタクト層 14 との間には、 $p/n$  接合が形成されているため、電極間に印加されたバイアス電圧により発生した電界の作用で、光電子は電子放出層 13 内に輸送され、活性層によって仕事関数が低下した電子放出層 13 の表面から真空中に放射される。

## 【0025】

光電陰極 1 では、電界が強い領域を広くするために、電子放出層 13 のキャリア濃度が、コンタクト層 14 のキャリア濃度に比べて十分低くなるようになされているので、電子放出層 13 の電気抵抗は大きくなっている。ここで、光電陰極 1 の温度を下げると、さらに電子放出層 13 の電気抵抗は大きくなる。電子放出層 13 の表面からは電子が放射されるものの、すべての電子が放射されるわけではなく、その電子が放射される確率はおおむね 10 分の 1 程度である。放射されず電子放出層 13 に残った光電子は、電子放出層 13 の露出表面を介してコンタクト層 14 および表面電極 15 へと導かれて放電される。しかし、電子が電子放出層 13 に残ってしまうと、電子放出層 13 からの電子放射を抑制し、結果として光電子放射感度の低下となる。このような分光感度の低下を避けるためには、放出されなかった光電子が容易にコンタクト層 14 へと導かれるようにしなければならない。

## 【0026】

この点、本実施形態に係る光電陰極 1 では、電子放出層 13 の上層に形成されているストライプ状のコンタクト層 14 の線間は  $1.4 \mu\text{m}$  にされている。このため、光電陰極 1 の露出表面におけるコンタクト層 14 からもっとも遠い点とコンタクト層 14 との距離は  $0.7 \mu\text{m}$  であり、光電陰極 1 の露出表面におけるすべての点とコンタクト層 14 との距離は、いずれも  $0.7 \mu\text{m}$  以下と近い位置関係にある。したがって、光電陰極 1 の温度を低くした場合であっても、電子放出層 13 において放射されなかった光電子を容易にコンタクト層 14 に誘導することができるので、電子放出層 13 における光電子の残存を好適に防止することが

でき、もって分光感度の低下を防止することができる。

#### 【0027】

このように光電陰極 1 の温度を低くした場合でも、分光感度の低下を防止することができるので、光電陰極 1 の温度を低くすることにより、分光感度の低下を招くことなく、S/N 比の改善を図ることができる。

#### 【0028】

さらに、本発明者らは、上記実施形態で示したように、光電陰極の温度を低くした場合であっても、分光感度の低下を招かないようにする条件を求めるべく実験を行い、本発明についてさらに探求した。以下、実施例においてその詳細について説明する。

#### 【0029】

##### 【実施例】

以下、本発明の実施例について説明する。光電陰極における温度を低くした場合であっても、分光感度の低下を招かない範囲を探るべく、本発明者らは、次の実験を行った。

#### 【0030】

まず、ストライプ形状をなすコンタクト層における突条間の距離  $2L$  を、 $4.0\mu\text{m}$ 、 $2.5\mu\text{m}$ 、 $1.8\mu\text{m}$ 、および  $1.4\mu\text{m}$  に調整した光電陰極を試作した。こうして試作した各光電陰極のうちの  $1.4\mu\text{m}$  に調整した光電陰極における分光感度の温度変化の例を図 3 に示す。図 3 からわかるように、長波長限界付近、たとえば  $1500\text{nm}$  付近の感度を見ると、 $-80^\circ\text{C}$  での感度に対して  $-160^\circ\text{C}$  での感度の低下が少なく、先に見たコンタクト層における突条間の距離  $2L$  が  $4.0\mu\text{m}$  の場合に比べて、低温での感度の低下が改善されていることがわかる。

#### 【0031】

次に、上記の距離  $2L$  にそれぞれ調整したコンタクト層を有する光電陰極について、 $-80^\circ\text{C}$  での感度に対する  $-160^\circ\text{C}$  の感度を、波長  $1500\text{nm}$  のもと、いくつかの試料で比較した。その結果として、 $-80^\circ\text{C}$  での感度に対する  $-160^\circ\text{C}$  の感度を図 4 および表 1 に示す。また、光電陰極に印加する電圧と光電子

放射感度比率（ $-160^{\circ}\text{C}$ 感度/ $-80^{\circ}\text{C}$ 感度）を図 5 に示す。

【 0 0 3 2 】

【表 1】

-80℃での感度に対する-160℃の感度 (波長 1500nm)

BIAS電圧(V)	4 $\mu\text{m}$ (1)	2.5 $\mu\text{m}$ (1)	2.5 $\mu\text{m}$ (2)	1.8 $\mu\text{m}$ (2)	1.8 $\mu\text{m}$ (1)	1.4 $\mu\text{m}$ (1)	1.4 $\mu\text{m}$ (2)
0.5							
1							
1.5			0.00E+00				
2		0.00E+00	0.00E+00				0.00E+00
2.5		1.33E-02	0.00E+00	0.00E+00		0.00E+00	2.40E-03
3	0.00E+00	3.11E-03	0.00E+00	1.97E-03	0.00E+00	1.19E-02	1.61E-03
3.5	2.94E-06	3.08E-04	0.00E+00	8.33E-04	8.59E-02	1.44E-01	3.14E-03
4	3.45E-06	1.62E-04	6.99E-06	6.67E-04	6.87E-02	5.28E-01	4.31E-02
4.5	2.83E-05	2.57E-04	1.69E-05	5.63E-03	1.52E-01	6.74E-01	4.40E-01
5	3.03E-04	8.83E-04	5.43E-05	7.24E-02	3.48E-01	5.45E-01	1.05E+00
5.5	1.42E-02	6.46E-03	7.20E-04	3.35E-01	4.20E-01	7.59E-01	1.17E+00
6	1.54E-02	7.13E-02	3.19E-02	4.75E-01	7.90E-01	1.10E+00	1.14E+00
6.5	1.23E-02	2.08E-01	2.46E-02	7.09E-01	7.75E-01	1.17E+00	1.05E+00
7	1.24E-02	1.87E-01	2.40E-02	6.97E-01	7.85E-01	1.11E+00	9.17E-01
7.5	1.87E-02	2.38E-01	3.60E-02	7.43E-01	7.31E-01	1.01E+00	9.00E-01
8	2.01E-02	3.26E-01	9.25E-02	7.62E-01	7.60E-01	8.78E-01	8.92E-01
8.5	2.72E-02	4.11E-01	2.30E-01	7.88E-01	7.69E-01	8.31E-01	9.08E-01
9	4.37E-02	4.89E-01	4.38E-01	8.17E-01	8.31E-01	8.31E-01	9.97E-01
9.5	6.32E-02	5.47E-01	5.09E-01	9.08E-01	8.20E-01	8.03E-01	
10	1.11E-01	5.95E-01	5.67E-01	8.93E-01	8.46E-01	7.72E-01	



## 【0033】

図4および表1からわかるように、コンタクト層における突条間の距離 $2L$ が短くなるにつれて、より低い結晶印加バイアス電圧 $V$ で、 $-160^{\circ}\text{C}$ における感度が $-80^{\circ}\text{C}$ のときの感度なみに出てきている。結晶に印加するバイアス電圧 $V$ が高くなると、図5に示した例のように暗電流放射が増加し $S/N$ 比が劣化するという現象が見られるため、 $8\text{V}$ 以上の電圧印加は避けるべきである。したがって、 $-160^{\circ}\text{C}$ での感度が $-80^{\circ}\text{C}$ での感度の $10$ 分の $1$ になるのを限界と考えると、コンタクト層における突条間の距離 $2L$ は $2\mu\text{m}$ 以下でなければならないことがわかる。また、簡便に光電陰極を作成するという観点から、半導体リソフラーフィアの精度に鑑み、コンタクト層の突条間の距離 $2L$ は $0.2\mu\text{m}$ 以上とする必要がある。突条間の距離 $2L$ が $0.2\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下であるということは、第2半導体層の露出表面におけるコンタクト層からもっとも遠い点とコンタクト層との距離 $L$ が、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下であることが必要となる。

## 【0034】

さらに、 $-160^{\circ}\text{C}$ での分光感度が $-80^{\circ}\text{C}$ での分光感度の $10$ 分の $1$ になるのを限界として結晶印加バイアス電圧 $V$ を整理すると、表2のようになる。

## 【0035】

【表2】

電極間隔 $2L(\mu\text{m})$	bias(V)	bias(V)/ $2L$	$W(\text{m})$	$R(\text{m})$	$R/W$
1.4	3.4	2.43E+00	8.06E-07	9.90E-07	1.23E+00
1.4	4.1	2.93E+00	8.64E-07	9.90E-07	1.15E+00
1.8	4.3	2.39E+00	8.80E-07	1.14E-06	1.30E+00
1.8	5.1	2.83E+00	9.41E-07	1.14E-06	1.21E+00
2.5	8.1	3.24E+00	1.14E-06	1.43E-06	1.26E+00

## 【0036】

この表2から、バイアス電圧とコンタクト層における突条間の距離 $2L$ との比を見ると、バイアス電圧 $(V)$ ／突条間の距離 $2L(\mu\text{m}) \geq 2$ となる条件が、暗電流の増加を見ずに低温での感度低下を抑制できる条件となっていることがわかる。したがって、光電陰極内部に印加する電圧 $V(V)$ を、第2半導体層の露出表面におけるコンタクト層からもっとも遠い点とコンタクト層との距離 $L(\mu$

m) で除した値が 4 以上となるようにされていることで、光電陰極の感度低下を招かないようにすることができる。

#### 【0037】

ここで、光電陰極の感度低下を招いている原因について考えてみる。光電陰極へのバイアス電圧の印加において、結晶内では空乏層がコンタクト層内部と電子放出層の界面から電子放出層内部、さらには光吸収層内部に広がる。この広がりには横方向と同時に縦方向に広がる、空乏層の中は真空同様の状態であり、空乏層内の光電子はすぐに表面へ輸送されるが、空乏化されていない領域では、冷却による半導体の高抵抗化で電子が取り残されてしまい、空間電化を形成し、後の光電子放射の妨げとなる。したがって、空乏層の広がりとは冷却により感度低下の間にはある関係があると考えられる。そこで、電子放出層 13 の厚み  $D$ 、コンタクト層における突条間の距離  $2L$  として、下記 (1-1) 式で示すというパラメータ  $R$  を定義する。

#### 【0038】

$$R = (D^2 + L^2)^{1/2} \dots (1-1)$$

また、空乏層の広がり  $W$  は、物性的には比誘電率  $\epsilon$ 、真空の誘電率  $\epsilon_0$ 、素電化  $q$ 、キャリア濃度  $N$ 、フラットバンド電位  $V_f$ 、バイアス電圧  $V$  として、下記 (1-2) 次式で表すことができる。

#### 【0039】

$$W = (2 \epsilon \epsilon_0 (V_f + V) / q N)^{1/2} \dots (1-2)$$

上記 (1-1) 式、(1-2) 式で示すパラメータ  $R$  と空乏層の広がり  $W$  との関係求めた。なお、(1-2) 式においては、空乏層の広がり  $W$  を求めるために、 $-160^\circ\text{C}$  の感度が  $-80^\circ\text{C}$  の感度の  $1/10$  以上になるのに必要なバイアス電圧  $V$  の値を代入した。その結果を整理して表 2 に示す。

#### 【0040】

表 2 からわかるように、およそ  $R/W \leq 1.5$  となることが、感度低下を招かない条件となっている。ここで、 $\epsilon$  の値は半導体材料に固有に値であるがおおむね 12 程度であり、フラットバンド電位  $V_f$  はおおむね 1 V 程度である。したがって、上記 (1-1) 式および (1-2) 式を整理して、感度低下を招かない条

件として、下記（１）式を得ることができる。

【0041】

$$D^2 + L^2 \leq 3.0 (1 + V) \times 10^9 / N \dots (1)$$

さらには、キャリア濃度は低いほど空乏層が伸びやすくなるが、現実的には  $5 \times 10^{21} \text{ m}^{-2}$  程度以下に制御するのは難しい。そのため、（１）式にキャリア濃度  $N = 5 \times 10^{21} \text{ (m}^{-2}\text{)}$  を代入して、下記（２）式を条件とすることもできる。

【0042】

$$D^2 + L^2 \leq 6.0 (1 + V) \times 10^{-13} \dots (2)$$

さらに、電子放出層 13 の厚み  $D$  が限りなく 0 に近づいた場合を想定することでもでき、このような場合でも感度低下を招かない条件を満たすことになる。そのため、上記（１）式に電子放出層の厚み  $D = 0 \text{ (}\mu\text{m)}$  を代入して、下記（３）式を条件とすることもできる。

【0043】

$$L^2 \leq 3.0 (1 + V) \times 10^9 / N \dots (3)$$

また、この場合も、キャリア濃度  $N$  の制限を考慮し、（３）式にキャリア濃度  $N = 5 \times 10^{21} \text{ (m}^{-2}\text{)}$  を代入して、下記（４）式を条件とすることもできる。

【0044】

$$L^2 \leq 6.0 (1 + V) \times 10^{-13} \dots (4)$$

さらに、結晶に印加するバイアス電圧  $V$  が高すぎると、暗電流が増えて使えなくなる。このため、バイアス電圧  $V = 10$  を  $\text{max}$  の制限として考えることができる。この条件を付した場合、上記（１）式に  $V = 10$  を代入して下記（５）式を条件とすることができる。

【0045】

$$D^2 + L^2 \leq 3.3 \times 10^{10} / N \dots (5)$$

また、この場合も、キャリア濃度  $N$  の制限を考慮し、（５）式にキャリア濃度  $N = 5 \times 10^{21} \text{ (m}^{-2}\text{)}$  を代入して、下記（６）式を条件とすることもできる。

【0046】

$$D^2 + L^2 \leq 6.6 \times 10^{-12} \dots (6)$$

このような条件式（１）～（６）のいずれかを満たすように光電陰極を製造す

ることにより、光電陰極を冷却して、光電陰極の分光感度を低下させることなく、熱電子放射を抑制してS/N比を改善することができるので、より微弱な光まで検出することが可能となった。図6は、従来の光電陰極と、本発明による光電陰極それぞれを光電子増倍管に組み込んだ際に得られた最小検出光パワーを光電陰極の温度の関数として比較した結果である。図6に示すように、本発明に係る光電陰極では、検出能力が大幅に向上するものとなった。

#### 【0047】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。たとえば、上記形態の説明においては、コンタクト層をストライプ形状に形成したが、たとえばメッシュ（格子）形状、またはスパイラル形状などとすることもできる。

#### 【0048】

また、上記実施形態では、光電陰極の材料としてInP/InGaAs化合物半導体を用いた場合について説明したが、InP/InGaAsP化合物半導体は勿論たとえば米国特許第3958143号に示されるCdTe, GaSb, InP, GaAsP, GaAlAsSb, InGaAsSbといった材料、またはこれらをいくつか組み合わせたヘテロ構造及びGe/GaAs, Si/GaP, GaAs/InGaAs等のヘテロ構造や、特開平5-234501号公報に示されるGaAs/AlGaAs多層膜といった半導体多層膜材料等を用いることもができる。

#### 【0049】

さらに、表面電極および裏面電極についても上記形態の説明ではAuGe/Ni/Au合金材料を用いた場合について説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、下地となる半導体と電氣的に良好なオーミックコンタクトがとれる材料であればよい。これらの材料を用いて光電子放出面を形成しても、上記本形態と同様な効果が奏される。

#### 【0050】

##### 【発明の効果】

以上の説明のとおり、本発明によれば、温度を低くした場合における分光感度

の低下を抑制することにより、S/N比の改善を図ることができる光電陰極を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態に係る光電陰極の全体斜視図である。

【図 2】

本発明の実施形態に係る光電陰極の側断面図である。

【図 3】

光電陰極における分光感度の温度変化の例を示すグラフである。

【図 4】

光電陰極に印加する電圧と、光電子放射感度の比率（ $-160^{\circ}\text{C}$ 感度/ $-80^{\circ}\text{C}$ 感度）を示すグラフである。

【図 5】

光電陰極に印加する電圧と暗電流との関係を示すグラフである。

【図 6】

従来の光電陰極と、本発明に係る光電子陰極それぞれを光電子増倍管に組み込んだ際に得られた最小検出光パワーを光電子陰極の温度の関数として比較した結果を示すグラフである。

【図 7】

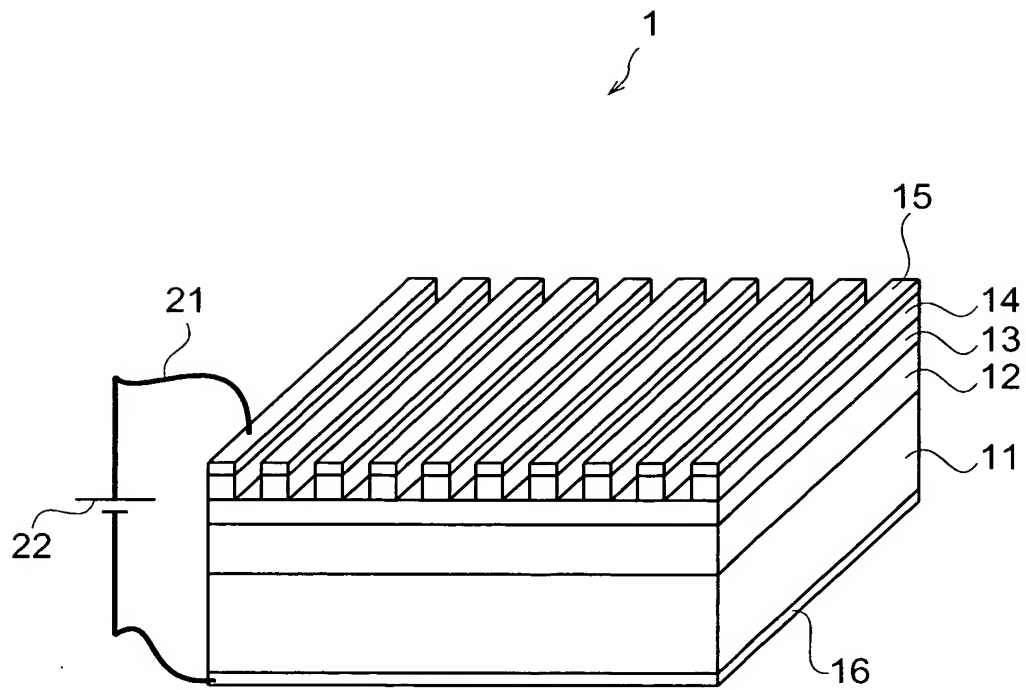
従来の光電陰極における分光感度の温度変化をグラフである。

【符号の説明】

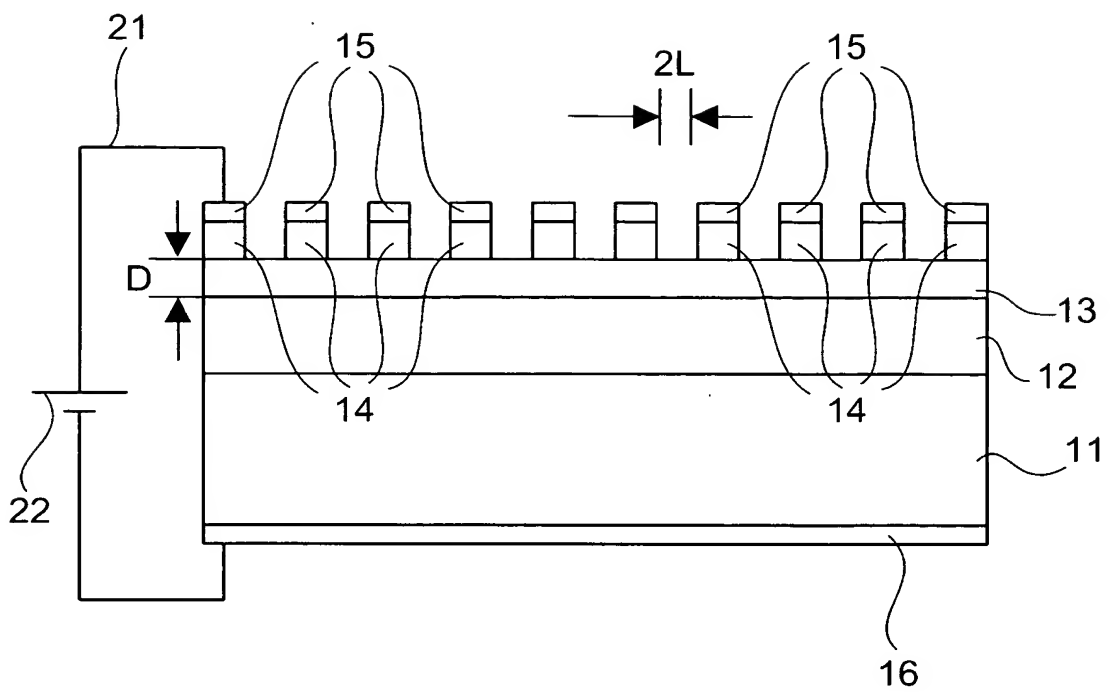
1…光電陰極、2…電子放出層、11…基板、12…光吸収層、13…電子放出層、14…コンタクト層、15…表面電極、16…裏面電極、21…配線、22…電源。

【書類名】 図面

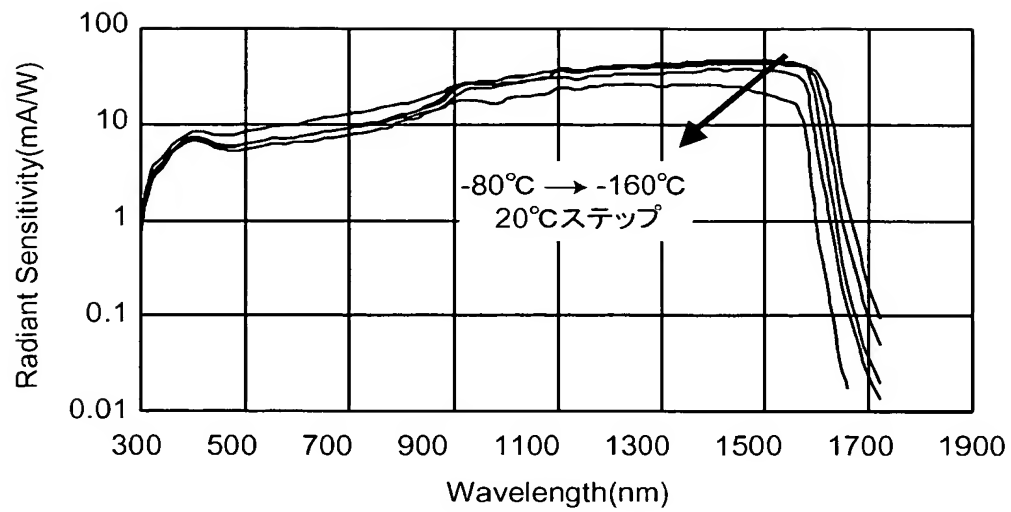
【図 1】



【図 2】

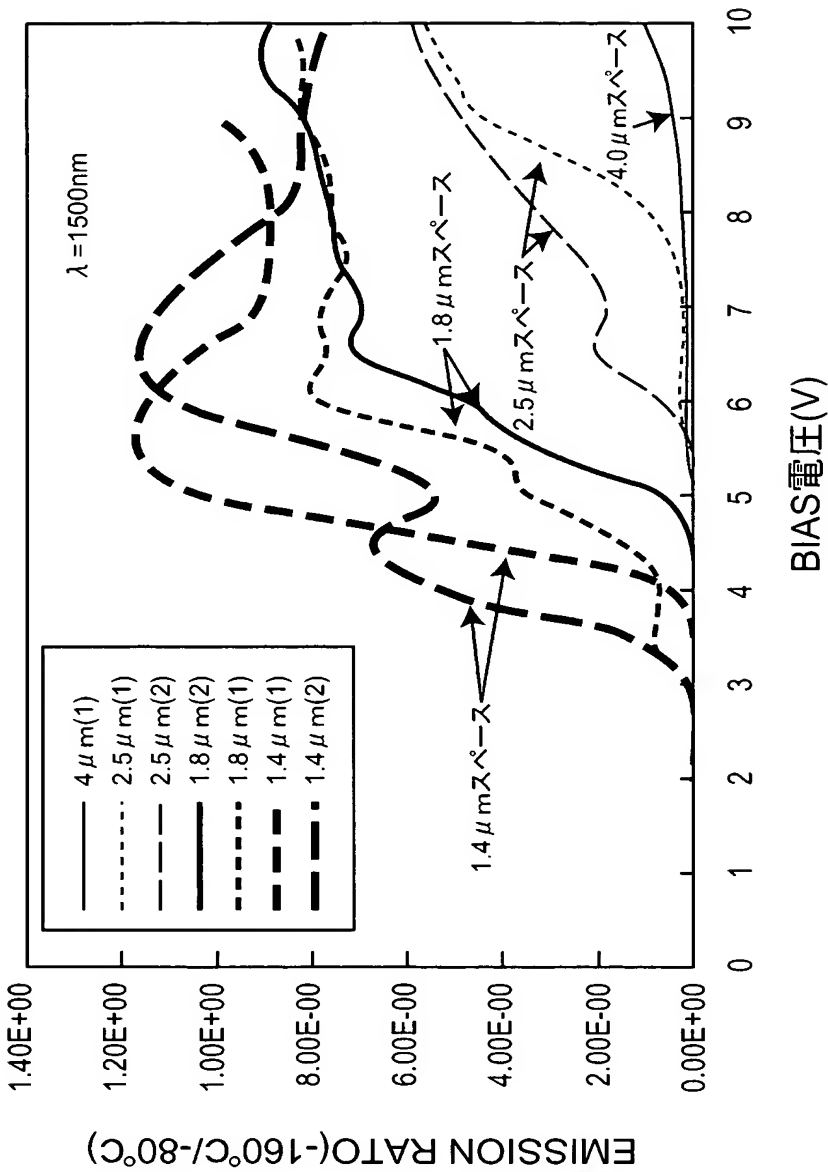


【図 3】

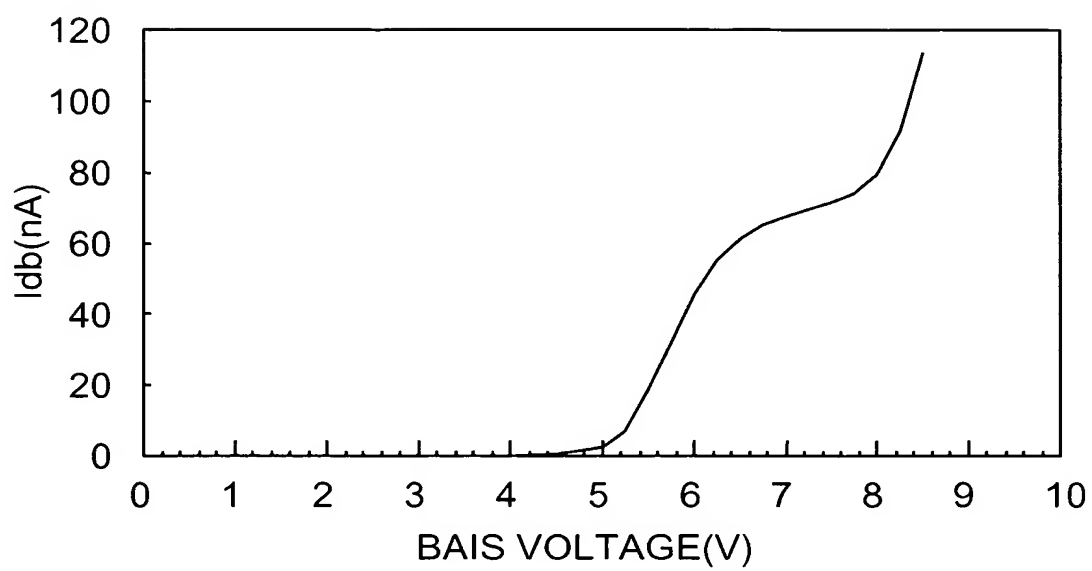




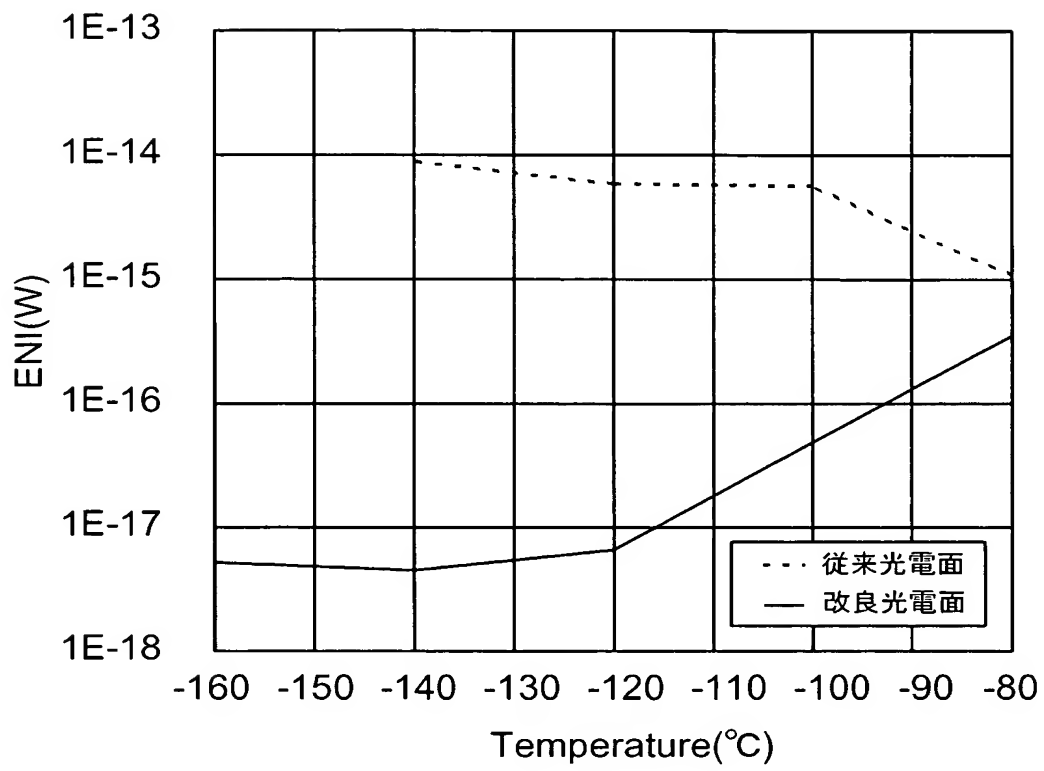
【図 4】



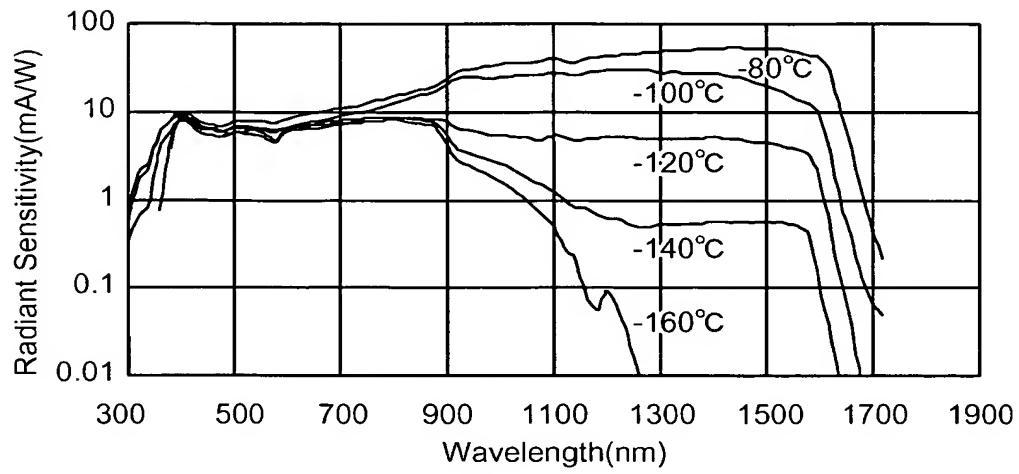
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 温度を低くした場合における分光感度の低下を抑制することにより、S/N比の改善を図ることができる光電陰極を提供する。

【解決手段】 基板 1 1 の上層に光吸収層 1 2 が形成され、光吸収層 1 2 の上層に電子放出層 1 3 が形成されている。電子放出層 1 3 の上層には、ストライプ形状のコンタクト層 1 4 が形成され、コンタクト層 1 4 の表層に金属性の表面電極 1 5 が形成されている。電子放出層 1 3 の露出表面におけるコンタクト層 1 4 からもっとも遠い点とコンタクト層 1 4 との距離 L が  $0.1\ \mu\text{m}$  以上  $1\ \mu\text{m}$  以下にされるように、コンタクト層 1 4 における突条間の距離が調整されている。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 3 1 1 4 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 3 6 4 3 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名

浜松ホトニクス株式会社